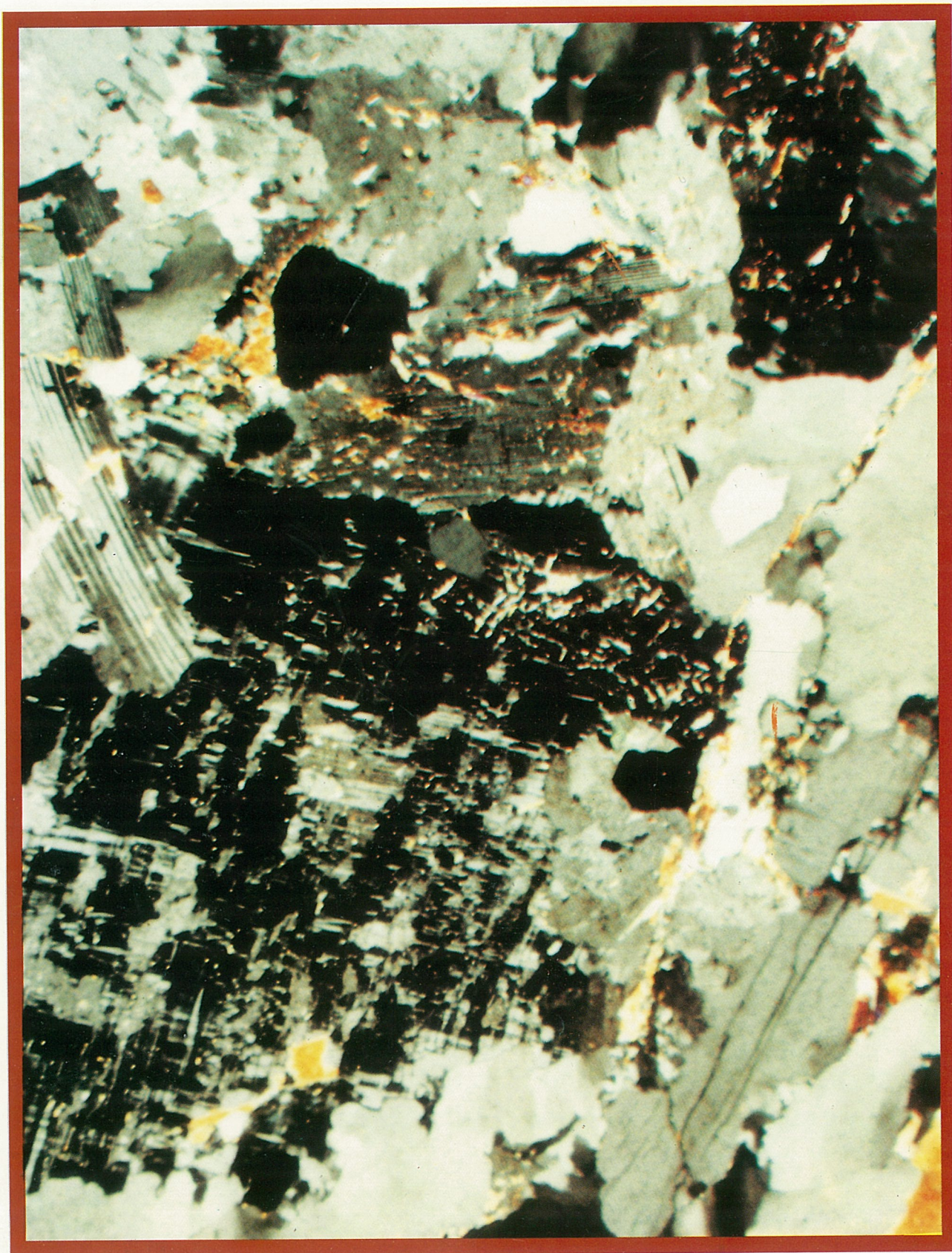


# A FRAGA

REVISTA DA ASSOCIAÇÃO DOS INDUSTRIAIS DA PEDRA DO NORTE - Nº 1



# UMA METODOLOGIA DE ANÁLISE DA DINÂMICA DE TRANSPORTE E ARMAZENAMENTO

Eng<sup>o</sup> Alexandre J. M. Leite  
Dept. Eng. Minas - FEUP

## Introdução

Baseado no conceito de **Simulação**, capítulo da conhecida Investigação Operacional, pretende apresentar-se uma metodologia de observação da dinâmica de sistemas de transporte e armazenamento em explorações a céu aberto.

A simulação é um conceito presente no dia a dia, relacionado com a tomada de decisão, com a análise experimental de alternativas, com vista a solucionar problemas concretos, a otimizar parcial ou globalmente os sistemas, ou projectar futuros empreendimentos. Esta surge como uma alternativa à experimentação directa, muitas vezes difícil de implementar, pois qualquer interferência num sistema em laboração acarreta necessariamente custos elevados. Baseia-se fundamentalmente numa entidade criada para o efeito - o **Modelo**.

## Modelo

Como exemplo de modelo, podemos referir um dos primeiros a ser criado com o objectivo de quantificação de fenómenos, o modelo de um gás construído por NEWTON. Composto por partículas ligadas por molas, era usado para calcular a velocidade de propagação do som.

Quando em criança brincávamos ao "faz de conta", se joga à batalha naval ou quando se afirma que o tempo vai mudar pois aparece uma dor reumática nos joanetes, estamos, com base em modelos representativos da realidade, a simular essa realidade e, em muitos casos, a fazer previsões. Um modelo pode ser definido como uma descrição do real, no sentido de que não é esse mesmo real, mas uma visão particular, resumida, onde não é dito tudo, mas que prognóstico e controlo. Por outras palavras, tem que proporcionar uma visualização do modo como o sistema representado é afectado nos seus aspectos particulares ou no seu todo, quando se realizam alterações em determinadas das suas características.

Para se concretizar e ser útil, o modelo deve possuir dois atributos

antagónicos - ser **simples** e **realista**. Deve constituir uma aproximação razoavelmente precisa do real e conter a maior parte dos aspectos importantes do mesmo. Por outro lado, este não pode ser complicado, ao ponto de nada se conseguir dele, ou mesmo nunca chegar a ser modelo.

## SIMULAÇÃO

### MODELO

#### DESCRIÇÃO DO REAL

#### VISÃO PARTICULAR

- PROGNÓSTICO
- CONTROLO

SIMPLES...REALISTA

#### ENTIDADE • PROPRIEDADES ACTIVIDADES • PARÂMETROS

#### FORMA DE EVOLUIR

- MODIFICAÇÕES

Os modelos sucessivamente mais realistas, na maioria dos casos, são conseguidos apenas quando se parte de situações simples, e por vezes até deturpantes da realidade. É sobre os insucessos que se reúnem novos dados qualitativos importantes, permitindo que as análises seguintes sejam bem reconduzidas.

Todo o modelo, elaborado com base nos conhecimentos que possuímos do sistema, deve conter as **entidades** que o compõe e respectivas **propriedades**. Deve representar as **actividades** que resultam da interacção das entidades, sob determinadas condições - **parâmetros** - e tem que possuir uma forma de **evoluir no tempo**, permitindo o aparecimento de acontecimentos que modificam o estado do sistema.

## Planeamento de Simulações



Tentaremos explicitar uma metodologia para o planeamento de simulações com vista a definir estratégias de exploração em unida-

des de extracção a céu aberto. O Propósito será construir um modelo para estudar o comportamento de um sistema de carga, transporte e armazenamento, tendo como função de remover o material desmontado de uma frente com destino a uma tolva de descarga que dá acesso a uma instalação de transformação.

**A** Prática em simulação sugere uma metodologia de abordagem em **etapas**, que genericamente se caracterizam da seguinte maneira:

#### Formulação do Problema

**A**ntes de começar a trabalhar em qualquer experiência de simulação, devemos decidir quais os **objectivos da pesquisa**. A formulação do problema pode ser concretizada com várias questões simples:

- O que pretendemos otimizar?
- Qual, ou quais, as variáveis que se pretendem maximizar ou minimizar?
- Qual o efeito gerado pela adição de mais entidades ao sistemas?

**P**ara que questões como estas sejam formuladas é necessário escolher fronteiras para o objecto em análise.

**N**uma pedreira, é legítimo colocar questões como por exemplo:

- Qual a quantidade de tempo de inactividade das unidades circulantes durante um relevo?
- Como evolui a produção do sistema com o aumento do número de unidades transportadas?

## PLANEAMENTO DE SIMULAÇÕES

- FORMULAÇÃO DO PROBLEMA
- RECOLHA E PROCESSAMENTO DE DADOS
- FORMULAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS
- ESTIMATIVA DE PARÂMETROS
- IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROGRAMA EM COMPUTADOR
- VALIDAÇÃO
- PROJECTO DE EXPERIÊNCIAS
- ANÁLISES DE RESULTADOS

## Recolha e processamento de dados

**N**esta fase são identificadas diversas funções importantes, mas nem sempre existentes na totalidade. É o contacto directo com a unidade a simular:

- Colecta;
- Registo;
- Conversão;
- Transmissão;
- Manipulação;
- Saída.

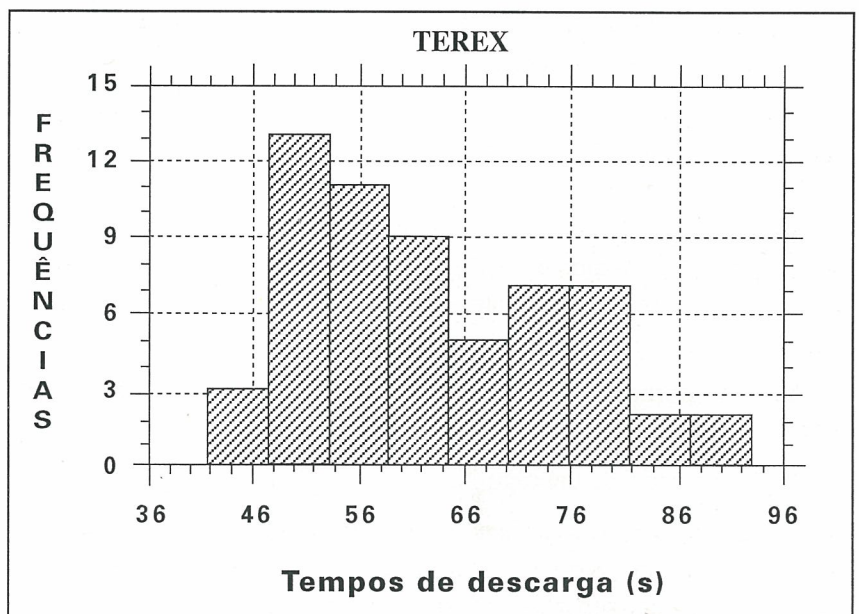
**A coleta** e o **registo**, são em geral simultâneas, aparecendo em muitos casos a necessidade de **conversão** dos dados de folhas de campo para registos magnéticos. Estas actividades efectuam-se em pleno sistema, sobre a realidade que se pretende modelar.

**P**orque os meios informáticos se apresentam como óptimos para este tipo de trabalho, a **transmissão** e **manipulação**, são funções mais que comuns. A abundância de utilitários para vários fins, obriga a transferir dados entre diferentes peças de software, para que possam ser obtidos resultados para utilizar em etapas seguintes.

**S**eguindo o esquema proposto, é nesta fase que se recolhem, para além do número e características, entidades a elaborar na pedreira, os tempos de cada uma nas tarefas em análise, com cronómetros ou por intermédio de um computador portátil programado para o efeito.

**O**s dados finais podem ser configurados sob a forma de **histogramas de frequências**, considerando-se estes como uma primeira imagem que permite interpretar as fenomenologias existentes.

**A** "aleatoriedade" característica deste tipo de unidades de exploração, intrínseca à descontinuidade que lhe é peculiar, bem como à intervenção humana nas tarefas, é observável na dispersão dos histogramas. O desvio padrão é uma medida da dispersão, ou seja, do não determinismo.



Histograma de Frequências relativo a tempos de descarga de um dumper

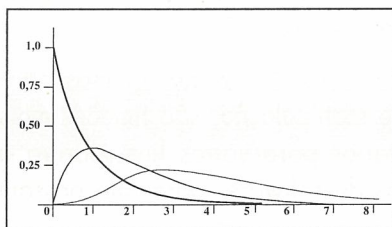
## Formulação de um modelismo matemático.

Na sequência da recolha de dados, surge a busca de **leis matemáticas** que representem os dados compilados. Um modelo matemático para os fenómenos em causa é procurado.

Quando é possível encontrar funções que se ajustam às variáveis medidas, com maior ou menor manipulação matemática, pode-se gerar aleatoriamente valores que representam os reconhecidos. Este é o método que permite reproduzir os acontecimentos reais.

Os módulos de geração de valores aleatórios são, também eles, representativos dos próprios fenómenos não determinísticos presentes.

A muitas das tarefas existentes no sistema em causa, a lei Gamma, devido à sua versatilidade de forma e escala, é ajustável de modo satisfatório. A lei Weibull, devido também à sua simplicidade na obtenção de valores aleatórios, é muitas vezes usada.



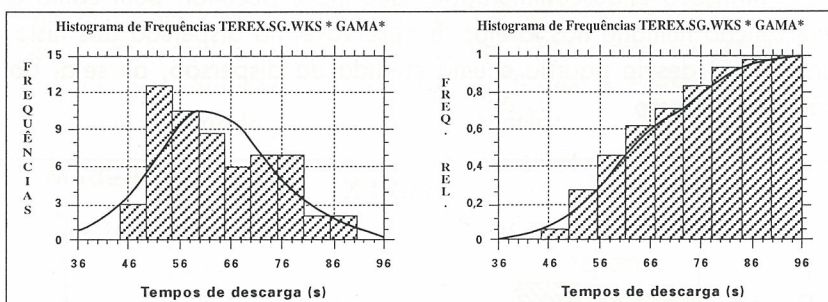
$$\text{Gamma } a, \beta (x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ x^{a-1} \cdot e^{-x/\beta} & x > 0 \end{cases}$$

em que  $\Gamma(x)$  é a função Gama de Euler

$$\Gamma(a) = \int_0^{\infty} x^{a-1} \cdot e^{-x} dx \quad (a > 0)$$

## Estimativa de parâmetros e avaliação do modelo

Existem métodos estatísticos para determinar o tipo de ajuste das leis matemáticas aos histogramas de valores colhidos. No fundo, estes servem para avaliar a fiabilidade da representação matemática. Testes como o do **Qui-quadrado** ou **Kolmogorov-Smirnov** são frequentes em utilitários informáticos vulgarizados. Uma vez na posse de um conjunto de funções matemáticas, o passo seguinte será **estimar os seus parâmetros** característicos para serem utilizados no futuro algoritmo de programação da simulação.



Ajustes da lei Gamma a um histograma de frequências e à respectiva cumulante.

Não é aconselhável avançar para uma nova etapa, sem que antes se comparem as médias e desvios padrões de valores gerados aleatoriamente com os correspondentes das populações de dados recolhidos no campo.

Esta comparação permite adquirir um maior ou menor **grau de confiança** nos modelos matemáticos adoptados.

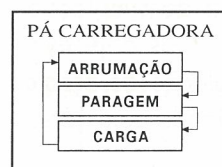
Implementação de um algoritmo de programação

A construção de algoritmo de programação deve iniciar-se pela realização de um fluxograma que esquematize a sequência de acontecimentos a serem processados, apoiada numa filosofia intrínseca ao sistema. Uma **arquitectura modular** (com blocos mais ou menos autóno-

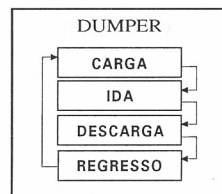
mos) é aconselhada, não só em termos de programação mas também porque permite uma visualização clara e rápida do encandeamento das tarefas existentes, possibilitando melhoramentos futuros por acrescento de mais módulos (a complexidade é aumentada sem perda de controlo do modelo.)

Todos os ciclos operacionais e entidades envolvidas devem ser caracterizadas por índices, aos quais se atribuem indicadores de estado, de acordo com a metodologia adoptada.

Intrínseco ao algoritmo, existe um modo de o fazer **evoluir no tempo**.



Dois metodologias costumam ser descritas para promover a dinâmica do modelo:



- "Critical Events Sequencing" - evolução por intervalos de tempo constantes;

- "Time Slicing" - evolução por intervalos de tempo variáveis, correspondentes à tarefa crítica.

Para a situação em estudo, e principalmente devido às dificuldades em optar por um valor para o passo constante do primeiro método, o segundo apresenta-se mais prometedora.

Efectivamente, fazer evoluir o sistema em cada instante de observação, por passos correspondentes ao tempo da tarefa que vai ser concluída mais rapidamente, afigura-se como uma estratégia que conduz a um mínimo tempo de cálculo, garantindo que todo o tipo de tarefas ou acontecimentos são abrangidos.

O passo seguinte será a tradução do fluxograma para uma linguagem de programação.

## Validação

Nas experiências de simulações em computador, a questão da **validação** coloca-se como o problema da

obtenção de garantias de que o modelo global construído (quer em termos matemáticos quer em termos da sua arquitectura conceptual) ainda que simplificado, é mesmo um modelo representativo do sistema em estudo, de tal forma que as conclusões e interferências obtidas possam ser úteis. Esta validação é feita à custa de vários ensaios, com parâmetros devidamente escolhidos, onde se observa a coerência dos resultados finais com esses dados de partida. Os conhecimentos **testes à rotura**, são válidos e eficazes para despistar erros elementares não detectados.

Um outro tipo de controlo a ser realizado está relacionado com a **estabilidade dos valores médios** obtidos para as variáveis observadas. Devem existir garantias que as médias dos valores finais que respondem aos problemas levantados à partida, atingiram um estado permanente. É frequente colocar como condição para esta estabilidade, a obrigação de o desvio padrão das médias ser inferior a uma certa percentagem da média. Esta garantia é atingida à custa da repetição das simulações em cadeia.

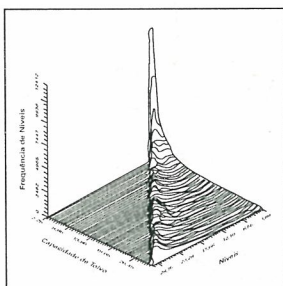
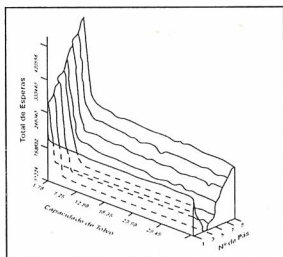
### Projecto de experiências de simulação e análise de resultados.

Uma vez construído o modelo as suas capacidades são numerosas. O projecto de exploração do algoritmo estará relacionado com cada caso específico, dependendo fortemente dos objectivos determinados.

### Dois exemplos de resultados finais

Toda a informação que possa ser recolhida, de um sistema deve ser considerada como fundamental para a definição de estratégias globais de optimização. A complexidade das unidades de exploração e produção não é compatível com a existência de uma única função objectivo, mas várias funções objectivo, sendo estas muitas vezes dependentes de factores externos às próprias unidades, como seja por exemplo, o mercado de comercialização dos produtos finais.

Somente a título de exemplo, apresentam-se dois gráficos, resultantes de uma simulação, correspondentes à análise de tempos totais de espera para uma dada configuração de unidades carregadoras e transportadoras, bem como uma tentativa de caracterização das frequências de níveis para uma gama de tolvas armazenadoras, com a finalidade de dimensionamento.



É notória a existência de um conjunto de mínimos para os totais de tempos de espera, numa organização comportando três pás carregadoras. Variar estes número acarreta um aumento daquele total.

Ao mesmo tempo é possível detectar a dependência do total de "esperas" relativamente à capacidade da tolva.

Neste exemplo, de histogramas relativos às frequências de níveis para diferentes capacidades da tolva, podemos verificar que, a grande maioria delas, apresenta estados de saturação. Neste caso, uma análise apurada dos resultados para as baixas capacidades de tolva que mantêm um comportamento indiferente relativamente às oscilações, quer a montante, quer a juzante das mesmas.

Estas serão tolvas óptimas.

### Conclusão

Como conclusão, ressalta a necessidade de considerar, nas unidades industriais a simulação e a inerente colheita de dados, como uma tarefa importante. Esta, se não for a mais importante tem pelo menos a mesma importância que a manutenção, o cálculo de diagramas de fogo, o dimensionamento de redes de esgoto, o controlo de vibrações, etc.

### BIBLIOGRAFIA:

Leite, A.J.M. - Simulação de Transportes e Armazenamento em Lavra a Céu Aberto (1990). Dep. de Minas da FEUP - Porto.

Madureira, C.M.N., Fiuza, A.M.A., Lopes, J.M.C. A Estratégia do Projecto - (1992). Dep. de Minas da FEUP - Porto.

Miranda, H.S.B. - Transportes Mineiros. Efeitos Peculiares da Disciplina de Fecho do Relevo - (1986). Dep. de Minas da FEUP - Porto.

Payne, J.A. - Introduction to Simulation - Programming Techniques and Methods of Analysis - (1988) - McGrawHill.